

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-349735

(43) 公開日 平成6年(1994)12月22日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/20		8122-4M		
21/32A	Z	8617-4M		
21/336				
29/784				
		9056-4M	H 0 1 L 29/ 78	3 1 1 Y
			審査請求 未請求 請求項の数5	FD (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平5-166117

(22) 出願日 平成5年(1993)6月12日

(71) 出願人 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72) 発明者 宮永 昭治

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 大谷 久

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 寺本 聡

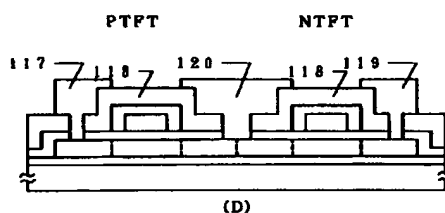
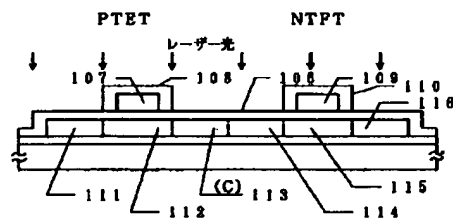
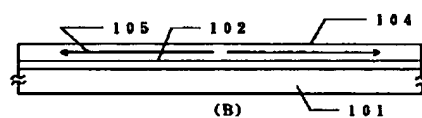
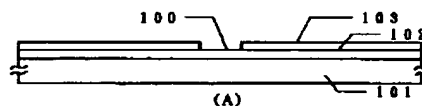
神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【要約】

【目的】 結晶性珪素膜を600度以下の低温で形成する。

【構成】 非晶質珪素膜に選択的に8族を中心とした金属元素例えばNiを導入し、加熱により珪素膜を結晶化させる。この際、結晶成長が基板に沿って進行する。例えば、100で示される領域に選択的にNiが導入された場合、その領域から結晶成長が105で示されるように行われる。そしてこの領域において、結晶成長方向とキャリアの移動方向とを揃えることによって、キャリアが高速で移動するデバイスを得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された非単結晶珪素膜を用いた半導体装置であって、

前記非単結晶珪素膜には、結晶化を促進させる触媒材料から選ばれた1種または複数種の材料が特定の領域に添加されており、

該領域からは基板表面に概略平行な方向に結晶成長が行われており、

前記結晶成長が行われた領域の非単結晶珪素膜を利用して半導体装置が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 請求項1において、触媒材料として、金属元素が用いられることを特徴とする半導体装置。

【請求項3】 請求項1において、触媒材料として、Fe、Co、Ni、Cu、Pd、Ag、Ptから選ばれた1種または複数種の材料が用いられることを特徴とする半導体装置。

【請求項4】 請求項1において、非単結晶珪素膜を利用した半導体装置が絶縁ゲイト型電界効果トランジスタであることを特徴とする半導体装置。

【請求項5】 請求項2において、絶縁ゲイト型電界効果トランジスタのチャネル形成領域は、キャリアの移動する概略の方向に結晶成長が行われていることを特徴とする半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ガラス等の絶縁基板上に設けられたTFT（薄膜トランジスタ）を有する半導体装置及びその作製方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】ガラス等の絶縁基板上にTFTを有する半導体装置としては、これらのTFTを画素の駆動に用いるアクティブ型液晶表示装置やイメージセンサー等が知られている。

【0003】これらの装置に用いられるTFTには、薄膜状の珪素半導体を用いるのが一般的である。薄膜状の珪素半導体としては、非晶質珪素半導体（a-Si）からなるものと結晶性を有する珪素半導体からなるものの2つに大別される。非晶質珪素半導体は作製温度が低く、気相法で比較的容易に作製することが可能で量産性に富むため、最も一般的に用いられているが、導電率等の物性が結晶性を有する珪素半導体に比べて劣るため、今後より高速特性を得るためには、結晶性を有する珪素半導体からなるTFTの作製方法の確立が強く求められていた。尚、結晶性を有する珪素半導体としては、多結晶珪素、微結晶珪素、結晶成分を含む非晶質珪素、結晶性と非晶質性の中間の状態を有するセミアモルファス珪素等の非単結晶珪素膜が知られている。以下においては、結晶性を有する珪素半導体を結晶性珪素半導体、結晶性を有する珪素半導体膜を結晶性珪素膜ということとす

る。

【0004】これら結晶性を有する薄膜状の珪素半導体を得る方法としては、

（1） 成膜時に結晶性を有する膜を直接成膜する。

（2） 非晶質の半導体膜を成膜しておき、レーザー光のエネルギーにより結晶性を有せしめる。

（3） 非晶質の半導体膜を成膜しておき、熱エネルギーを加えることにより結晶性を有せしめる。

と言った方法が知られている。しかしながら、（1）の方法は良好な半導体物性を有する膜を基板上に全面に渡って均一に成膜することが技術上困難であり、また成膜温度が600℃以上と高いので、安価なガラス基板が使用できないというコストの問題もあった。また、（2）の方法は、現在最も一般的に使用されているエキシマレーザーを例にとると、レーザー光の照射面積が小さいため、スループットが低いという問題がまずあり、また大面積基板の全面を均一に処理するにはレーザーの安定性が充分ではなく、次世代の技術という感が強い。（3）の方法は、（1）、（2）の方法と比較すると大面積に対応できるという利点はあるが、やはり加熱温度として600℃以上の高温にすることが必要であり、安価なガラス基板を用いることを考えると、さらに加熱温度を下げる必要がある。特に現在の液晶表示装置の場合には大画面化が進んでおり、その為ガラス基板も同様に大型の物を使用する必要がある。この様に大型のガラス基板を使用する場合には、半導体作製に必要不可欠な加熱工程における縮みや歪みといったものが、マスク合わせ等の精度を下げ、大きな問題点となっている。特に現在最も一般的に使用されている7059ガラスの場合には、歪み点が593℃であり、従来の加熱結晶化方法では大きな変形を起こしてしまう。また、温度の問題以外にも現在のプロセスでは結晶化に要する加熱時間が数十時間以上にも及ぶので、さらにその時間を短くすることも必要である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記の問題を解決する手段を提供するものである。より具体的には非晶質珪素からなる薄膜を加熱により結晶化させる方法を用いた、結晶性を有する珪素半導体からなる薄膜の作製方法において、結晶化に必要な温度の低温化と時間の短縮を両立するプロセスを提供することをその目的とする。勿論、本発明で提供されるプロセスを用いて作製した結晶性を有する珪素半導体は、従来技術で作製されたものと同等以上の物性を有し、TFTの活性層領域にも使用可能なものであることは言うまでもないことである。

【0006】〔発明の背景〕本発明人らは、上記従来の技術の項で述べた、非晶質の珪素半導体膜をCVD法やスパッタ法で成膜し、該膜を加熱によって結晶化させる方法について、以下のような実験及び考察を行った。

【0007】まず実験事実として、ガラス基板上に非晶質珪素膜を成膜し、この膜を加熱により結晶化させるメカニズムを調べると、結晶成長はガラス基板と非晶質珪素との界面から始まり、ある程度の膜厚以上では基板表面に対して垂直な柱状に進行することが認められた。

【0008】上記現象は、ガラス基板と非晶質珪素膜との界面に、結晶成長の基となる結晶核（結晶成長の基となる種）が存在しており、その核から結晶が成長していくことに起因すると考察される。このような結晶核は、基板表面に微量に存在している不純物金属元素やガラス表面の結晶成分（結晶化ガラスと呼ばれるように、ガラス基板表面には酸化珪素の結晶成分が存在していると考えられる）であると考えられる。

【0009】そこで、より積極的に結晶核を導入することによって結晶化温度の低温化が可能ではないかと考え、その効果を確認すべく、他の金属を微量に基板上に成膜し、その上に非晶質珪素からなる薄膜を成膜、その後加熱結晶化を行う実験を試みた。その結果、幾つかの金属を基板上に成膜した場合においては結晶化温度の低下が確認され、異物を結晶核とした結晶成長が起こっていることが予想された。そこで低温化が可能であった複数の不純物金属について更に詳しくそのメカニズムを調査した。

【0010】結晶化は、初期の核生成と、その核からの結晶成長の2段階に分けて考えることができる。ここで、初期の核生成の速度は、一定温度において点状に微細な結晶が発生するまでの時間を測定することによって観測されるが、この時間は上記不純物金属を成膜した薄膜ではいずれの場合も短縮され、結晶核導入の結晶化温度低温化に対する効果が確認された。しかも予想外のことであるのだが、核生成後の結晶粒の成長を加熱時間を変化させて調べたところ、ある種の金属を成膜後、その上に成膜した非晶質珪素薄膜の結晶化においては、核生成後の結晶成長の速度までが飛躍的に増大することが観測された。このメカニズムについては後ほど詳しく述べることにする。

【0011】いずれにしろ、上記2つの効果により、ある種の金属を微量に成膜した上に非晶質珪素からなる薄膜を成膜、その後加熱結晶化した場合には、従来考えられなかったような、580℃以下の温度で4時間程度の時間で十分な結晶性が得られることが判明した。このような効果を有する不純物金属の例として、鉄、コバルト、ニッケル、銅、パラジウム、銀、白金が挙げられる。これらはいずれも触媒材料として良く利用される金属であるので、今後本明細書中ではこれらを称して「低温結晶化用触媒金属」と略すことにする。これらの中で、最も効果が顕著であり、かつ扱いやすい材料としてニッケルが挙げられ、今後本明細書中ではニッケルを中心とした議論を行う事とする。

【0012】ニッケルがどの程度の効果を有するののか

例を挙げると、なんら処理を行わない、即ちニッケルの微量な薄膜を成膜していない基板上（コーニング7059）にプラズマCVD法で形成された非晶質珪素からなる薄膜を窒素雰囲気中での加熱によって、結晶化する場合、その加熱温度として600℃とした場合、加熱時間として10時間以上の時間を必要としたが、ニッケルの微量な薄膜を成膜した基板上の非晶質珪素からなる薄膜を用いた場合には、4時間程度の加熱において同様な結晶化状態を得ることができた。尚この際の結晶化の判断はラマン分光スペクトルを利用した。このことだけでも、ニッケルの効果が非常に大きいことが判るであろう。

【0013】〔課題を解決するための手段〕上記説明から判る様に、低温結晶化用触媒金属の微量な薄膜を成膜した上から、非晶質珪素からなる薄膜を成膜した場合、結晶化温度の低温化及び結晶化に要する時間の短縮が可能である。そこで、このプロセスをTFTの製造に用いることを前提に、さらに詳細な説明を加えていくことにする。尚、後ほど詳述するが、低温結晶化用触媒金属の薄膜は基板上のみならず非晶質珪素上に成膜しても同様の効果を有すること、及びイオン注入でも同様であったことから、今後本明細書ではこれら一連の処理を「低温結晶化用触媒金属微量添加」と呼ぶことにする。なお、上記低温結晶化用触媒金属としては、鉄、コバルト、ニッケル、銅、パラジウム、銀、白金から選ばれた少なくとも一つの元素を用いることが有用であるが、発明者らの知見によれば、上記材料と同等の効果を有する元素としては、8族元素であるRu、Rh、Os、Irを挙げることができる。

【0014】まず低温結晶化用触媒金属添加の方法について説明する。低温結晶化用触媒金属の微量添加は、基板上に微量な低温結晶化用触媒金属薄膜を成膜し、その後非晶質珪素を成膜する方法でも、先に非晶質珪素を成膜し、その上から微量な低温結晶化用触媒金属薄膜を成膜する方法でも、両者同様に低温化の効果が有り、その成膜方法はスパッタ法でも、蒸着法でも可能で、成膜方法は問わないことが判明している。ただし、基板上に微量な低温結晶化用触媒金属薄膜を成膜する場合、7059ガラス基板の上から直接微量な低温結晶化用触媒金属薄膜を成膜するよりは、同基板上に酸化珪素の薄膜を成膜し、その上に微量な低温結晶化用触媒金属薄膜を成膜した場合の方が効果がより顕著である。この理由として考えられることとして、珪素と低温結晶化用触媒金属が直接接触していることが今回の低温結晶化には重要であり、7059ガラスの場合には珪素以外の成分がこの両者の接触あるいは反応を阻害するのではないかということが挙げられる。

【0015】また、微量添加の方法としては、非晶質珪素の上または下に接して薄膜を形成する以外に、イオン注入によって低温結晶化用触媒金属を添加してもほぼ同

様の効果が確認された。また、結晶化させんとする非晶質珪素膜または非単結晶珪素膜の成膜時に、不純物として添加してもよい。

【0016】低温結晶化用触媒金属の量としては、例えばニッケルについては、 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$  以上の量の添加において低温化が確認されているが、 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  以上の添加量においては、ラマン分光スペクトルのピークの形状が珪素単体の物とは明らかに異なることから、実際に使用可能であるのは  $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  の範囲であると思われる。また、半導体物性として、TFTの活性層に使用することを考えると、この量を  $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  に抑えることが必要である。

【0017】続いて、低温結晶化用触媒金属としてニッケルを用いた場合に推測される結晶化機構について説明を加える。

【0018】上述の通り、低温結晶化用触媒金属を添加しない場合には、基板界面等の結晶核からランダムに核が発生し、その核からの結晶成長も同様にランダムで、作製方法によっては(110)或いは(111)に比較的配向した結晶が得られることが報告されており、当然ながら薄膜全体に渡ってほぼ均一な結晶成長が観測される。

【0019】まずこの機構を確認すべく、DSC(示差走査熱量計)による解析を行った。プラズマCVDで基板上に成膜した非晶質珪素薄膜を、基板についたまま試料容器に充填し、一定速度で昇温していった。すると、およそ700℃前後で明確な発熱ピークが観察され、結晶化が観測された。この温度は、昇温速度を変えると当然シフトするが、例えば10℃/minの速度で行った場合には700.9℃から結晶化が開始した。次に昇温速度を3種類変えたものを測定し、それらから小沢法によって初期核生成後の結晶成長の活性化エネルギーを求めた。すると、およそ3.04eVという値が得られた。また、反応速度式を理論曲線とのフィッティングから求めたところ、無秩序核生成とその成長モデルによって、最も良く説明されることが判明し、基板界面等の結晶核からランダムに核が発生し、その核からの結晶成長というモデルの妥当性が確認された。

【0020】前述と全く同様の測定を、低温結晶化用触媒金属を添加したもの、ここでは例としてニッケルを微量添加したものについても行ってみた。すると、10℃/minの速度で昇温を行った場合には619.9℃から結晶化が開始し、それら一連の測定から求めた結晶成長の活性化エネルギーはおおよそ1.87eVであって、結晶成長が容易となっていることが数値的にも明らかとなった。また、理論曲線とのフィッティングから求めた反応速度式は、一次元的界面律速のモデルに近く、結晶成長に一定方向の方向性を有することが示唆された。

【0021】ここで、結晶化開始温度が低温化されることについては、前述の通り異物の効果として比較的容易に考えられるのであるが、結晶成長の活性化エネルギーまで下がった原因は何であろうか。この理由を調べるべく、多結晶珪素膜に珪素イオン注入することによって非晶質化することにより作製した非晶質珪素膜の再結晶化の活性化エネルギーの測定を前述の方法によって行った。その結果、結晶化開始温度は逆に高温側にシフトしたものの、結晶成長の活性化エネルギーは約2.3eVと低下することが判明した。ここで、イオン注入によって作製した非晶質珪素膜においては、膜中に殆ど水素を含んでいないということを考えると、結晶成長の容易さは、結晶部分と非晶質部分との界面における水素脱離の容易さが律速しているのではないかということが予想される。この仮説を支持する実験結果として、非晶質珪素膜のTG-DTA(示差熱-熱重量同時分析)の結果から、結晶化の開始は常に水素脱離が一段落した直後に起こっており、水素が結晶化を阻害している可能性は非常に高いものと予想される。ここで今回添加した低温結晶化用触媒金属と水素との反応について調べてみると、これらはいずれも水素と反応して水素化物を作る際に、発熱反応を起こす物質である(パラジウムだけは文献によっては吸熱反応と示されている)ことが判明した。このことは、低温結晶化用触媒金属が水素と結合することによって安定化されることを示しており、これらから次のような機構により低温化が達成されていると考えられる。非晶質珪素中に取り込まれた低温結晶化用触媒金属は、珪素と直接結合を作っている。ここに温度を加えると、濃度勾配を均質化するために低温結晶化用触媒金属の拡散が結晶化に先立って進行するが、その際に水素と結合しながら拡散し、その結果として珪素との結合が弱くなって結合が容易に切れやすくなり、膜中のダングリングボンド及び空孔が増加する。結晶化は珪素原子の移動を伴う必要があるが、ダングリングボンド及び空孔の増加はそれらを容易にすることが予想され、これらは結晶化の準備が低い温度において形成されることを意味する。その後、核発生が起こるが、この際の活性化エネルギーが低温結晶化用触媒金属の微量添加により低減される。このことは低温結晶化用触媒金属を添加することにより、より低温から結晶化が発生していることから自明であって、この理由としては低温結晶化用触媒金属単体の異物としての効果あるいは、低温結晶化用触媒金属と珪素からなる金属間化合物の効果の可能性もあると考えている。また、この核発生は低温結晶化用触媒金属の添加した領域全面についてほぼ同時に発生するため、結果として結晶成長は面のまま成長するような機構となり、この場合反応速度式は一次元的界面律速過程となっており、DSCの結果と一致する。その後は結晶核からの結晶成長が進行するが、その際に水素が結晶部分と非晶質部分の界面に存在しないために律速過程が変化し、それに伴

って結晶成長に必要な活性化エネルギーは大きく低下する。上記機構を説明するためには、結晶化に先立つた低温結晶化用触媒金属の拡散が必要不可欠であるが、これについては、結晶化が開始する手前までアニールを施した試料について、低温結晶化用触媒金属の濃度をSIMS（二次イオン質量分析法）によって測定したところ、低温結晶化用触媒金属を直接添加した領域からかなり遠方の添加していない領域にまで測定限界値以上の低温結晶化用触媒金属の存在が確認されていることから明らかであろうと考えられる。

【0022】次いで、上記低温結晶化用触媒金属微量添加によって得られた結晶性珪素膜の結晶形態について説明を加える。結晶化機構の説明の際にも触れたが、添加した金属は結晶化温度以下でかなり広い領域に拡散する。そしてその結果、これら拡散領域においても結晶化温度の低温化が達成されている。そして、この直接添加領域と、その拡散領域においては結晶形態がことなることが明らかとなった。即ち、直接添加領域は基板に垂直方向に結晶成長するのに対し、その周辺の拡散領域は結晶が基板に水平方向に成長する様子が確認された。これらは、いずれも結晶の初期核生成の違いによるものであろうと推測している。即ち、直接添加部分は、それらの異物が結晶核になり、そこから柱状に結晶成長が起こるのに対し、周辺の拡散領域は、結晶核は前述の縦方向に成長した直接添加部分であって、そこから成長が始まるために必然的に横方向に成長が起こっているものと解釈されるからである。以下、本明細書において、このように低温結晶化用触媒金属の直接添加領域から周辺に伸びた基板に平行な横方向への結晶成長領域を「横成長」領域と呼ぶことにする。

【0023】次に、上記低温結晶化用触媒金属としてニッケルを使用した場合の、ニッケル微量添加部分とその近傍の横成長部分についての電気特性を説明する。ニッケル微量添加部分の電気特性は、導電率に関してはほぼニッケルを添加していない膜、即ち600℃程度で数十時間結晶化を行ったものと同程度の値であり、また導電率の温度依存性から活性化エネルギーを求めたところ、ニッケルの添加量を前述の様に $10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> ~  $10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup> 程度とした場合には、ニッケルの準位に起因すると思われる様な挙動は観測されなかった。即ち、この実験事実からは、上記の濃度であればTFTの活性層等として使用が可能であることが考察される。

【0024】それに対し、横成長部分は、導電率がニッケル微量添加部分と比較して1桁以上高く、結晶性を有する珪素半導体としてはかなり高い値を有していた。このことは、電流のパス方向が結晶の横成長方向と合致したため、電極間で電子が通過する間に存在する粒界が少ないあるいは殆ど無かったことによるものと考えられ、透過電子線顕微鏡写真の結果と矛盾無く一致する。即

ち、キャリアの移動が針状または柱状に成長した結晶の粒界に沿ったものとなるので、キャリアは移動しやすい状態が実現されている、と考えることができる。

【0025】また、図1に示すように100の領域に選択的にニッケルを珪化ニッケル膜として導入し、しかる後に非晶質珪素膜104を公知のプラズマCVD法で形成し、さらに550度、4時間の加熱によって結晶化をさせた場合、ニッケルが導入された領域100では基板101に垂直な方向に結晶成長が起こり、同時に100以外の領域においては、矢印105で示すように基板101に平行な方向に横方向成長が行われる。そして、この結果結晶性珪素膜が得られる。この結晶性珪素膜中のニッケルの濃度をSIMSで測定したところ、以下の様な知見が得られた。

【0026】1. ニッケルの濃度分布は、膜の厚さ方向においてそれ程大きくない。

2. ニッケルが直接導入された領域（例えば、図1でいうと100の領域）におけるニッケル濃度は、ニッケル膜の成膜条件に大きく影響される。言い換えるならば、その領域におけるニッケル濃度の再現性はそれ程高くない。

3. 基板に平行な方向に結晶成長した領域（ニッケルが直接導入されていない領域）においては、上記2のニッケルが直接導入された領域よりもその濃度が約1桁以上小さく、その濃度の再現性は高く得られる。

4. バックグラウンドのニッケル濃度は、 $1 \times 10^{17}$  cm<sup>-3</sup>程度であり、SIMSの測定限界とほぼ一致する。即ち、バックグラウンドのニッケル濃度は、SIMSの測定限界レベルである $1 \times 10^{17}$  cm<sup>-3</sup>程度、またはそれ以下であるといえる。

【0027】例えば、ニッケルが直接導入され、基板に垂直な方向に結晶成長した領域においては、約 $2 \times 10^{18}$  cm<sup>-3</sup>の濃度でニッケルが存在している場合、そのニッケルが導入された領域から約40μm離れた基板に平行な方向に結晶成長した領域、即ち横方向成長が行われた領域では、測定されるニッケル濃度は約 $2 \times 10^{17}$ と約1桁少ない。上記の例を図4を用いて説明する。図4に示すのは、プラズマ処理によってNiが添加された領域(Plasma treated)のNi濃度と、基板に平行な方向に結晶成長した領域(Lateral growth)のNi濃度と、グラウンドレベルであるa-SiのNi濃度である。図4からも分かるように、基板に平行な方向に結晶成長した領域(Lateral growth)のNi濃度は、Niが直接導入された領域よりもNi濃度が低い。従って、デバイスとして利用するには、この基板に平行な方向に結晶成長した領域を利用することが有用である。

【0028】直接ニッケルが導入される領域での珪素膜中でのニッケル濃度を制御することは大変困難であり、この場合のニッケル濃度は、ニッケル膜（実際には珪化ニッケル膜）の成膜条件によって大きく変化する。これ

は、この領域（例えば図1の100の領域）でのニッケル濃度が、20Å程度という極めてシビアな膜厚（実際に測定することは困難であり、成膜レートから概算した値である）が要求される成膜条件に直接依存するためであると考えられる。周知のように、スパッタ法等の成膜方法で大面積に20Å程度の膜を均一性良く成膜することは不可能である。従って、その成膜の再現性の悪さが直接珪素膜中のニッケル濃度に反映するものと考えられる。また、このニッケル濃度のバラツキは、このニッケルが直接導入された領域を活性層として形成したTFTの特性にも直接影響する。即ち、ニッケルが直接導入された領域（例えば図1の100）を利用してTFTを作製すると、その特性のバラツキが大きく現れる。これも極薄膜のニッケル膜の成膜の再現性の悪さに起因するものと考えられる。

【0029】一方、ニッケルが導入された領域から離れた領域、即ちニッケルが直接導入された領域から結晶が基板に平行な方向に横方向成長した領域のニッケル濃度は、概してニッケルが直接導入された領域よりもその濃度が小さく（前述のように40μm離れた場所で約1桁小さい）、さらにそのバラツキが小さくなる傾向が見られた。また、実験によれば、TFTとして満足のいく特性が得られる活性層中のニッケルの濃度は、SIMSの測定限界以下（ $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下）～ $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であることが分かっているが、基板に平行に結晶成長した領域においては、直接のニッケルの導入量（ニッケルが導入された領域、例えば領域100における珪素膜104中のニッケル濃度）に係わらず、上記所定のニッケル濃度が比較的安定して得られることが判明している。即ち、ニッケルが導入された領域から基板に平行に結晶成長した領域を利用してTFTを形成すると、極めて再現性良くTFTを得ることができる。

【0030】さらにまた、上記ニッケル濃度の範囲内の領域を選ぶこと、あるいは所定の領域（但しニッケルが直接導入される100で示される領域は不可）のニッケル濃度を上記範囲内にすることも容易であることが確認されている。例えば、所定のニッケル濃度を有する領域を選ぶには、ニッケルが導入された領域からの距離を設定することでニッケルを所定の濃度とすることができ、但しこの場合、必要とする珪素膜の結晶性が得られることが条件となる。

【0031】また、この基板に平行に結晶成長した領域におけるニッケル濃度を制御するには、結晶化の条件（主に加熱時間と加熱温度）を制御することによっても行え、その制御は、ニッケルが直接導入された領域におけるニッケル濃度を制御するのに比較して極めて容易である。

【0032】以上のように、結晶化のための触媒元素が添加された領域から基板に平行に結晶成長した領域、即ち横方向成長領域を半導体装置に利用することは、

(1) 結晶の配向性を積極的に利用でき、高移動度を有するキャリアを利用できる。

(2) 結晶化のための触媒材料の濃度が低い領域を利用できる。

(3) 上記(2)の領域が再現性良く得られる。

(4) 結晶化のための触媒材料の濃度を容易に制御することができる。という点で有用である。

【0033】では最後に、上述の各種特性を踏まえた上でTFTに応用する方法について説明する。ここでTFTの応用分野としてはTFTを画素の駆動に用いるアクティブマトリックス型液晶表示装置を想定するものとする。

【0034】前述の様に、最近の大画面のアクティブマトリックス型液晶表示装置においては、ガラス基板の縮みを抑えることが重要であるが、本発明の低温結晶化用触媒金属微量添加プロセスを用いることにより、ガラスの歪み点に比較して十分に低い温度で結晶化が可能であり、特に好適である。本発明を用いれば、従来非晶質珪素を用いていた部分を、低温結晶化用触媒金属を微量添加し、500～550℃程度で4時間程度結晶化させることにより、結晶性を有する珪素に置き換えることが容易に可能である。勿論、デザインルール等をそれ相応に変更する必要があるが、装置、プロセス共従来の物で十分に対応可能であり、そのメリットは大きいものと考えられる。

【0035】しかも、今回の発明を用いれば、画素に用いるTFTと、周辺回路のドライバーを形成するTFTとを、それぞれ特性に応じた結晶形態を利用して作り分けることも可能であり、アクティブ型液晶表示装置への応用に特にメリットが多い。画素に用いるTFTは、それほどモビリティは必要とされておらず、それよりはオフ電流が小さいことの方がメリットが大きい。そこで本発明を用いる場合には、画素に用いるTFTとなるべき領域に直接低温結晶化用触媒金属微量添加を行うことによって、結晶を縦方向に成長させ、その結果チャネル方向に粒界を多数形成してオフ電流を低下させることが可能である。それに対して、周辺回路のドライバーを形成するTFTは、今後ワークステーションへの応用等を考えた場合には、非常に高いモビリティが必要である。そこで本発明を応用する場合には、周辺回路のドライバーを形成するTFTの近傍に低温結晶化用触媒金属の微量添加を行い、そこから一方向（基板に平行な方向）に結晶を成長させ、その結晶成長方向をチャネルの電流のパス方向と揃えることにより、非常に高い移動度を有するTFTを作製することが可能である。

【0036】また、画像情報や光信号を取扱うためのセンサーをガラス基板上に集積化した装置が知られている。例えば、集積化されたイメージセンサー等が知られている。このような装置において、可視光を検出するのであれば、分光感度の点から、非晶質珪素(a-Si)

## 11

を用いることが好ましい。しかし、駆動回路部分には高速動作が要求されるスイッチング素子が必要とされるので、駆動回路部分の素子例えばTFTを非晶質珪素膜で構成するのは好ましくない。このような場合、上記の高移動度TFTを利用するのが有用である。例えば、センサー部分には、非晶質珪素膜を利用したフォトダイオードやフォトトランジスタを形成し、周辺回路部分は、本発明の結晶性珪素膜を利用してトランジスタを形成する。そしてこれらの回路を同一基板（例えばガラス基板）上に集積化されて作り分けられる構成とすることができる。

【0037】即ち、本発明を利用するならば、所定の領域に結晶性珪素膜の領域と非晶質珪素膜の領域を作り分けることができ、しかも横方向に結晶成長した結晶性珪素膜の領域を利用することで、キャリアが高速で移動できるデバイス形成することができる。上記のような有用性は、液晶表示装置やセンサー等に限らず、広く基板上に集積化された半導体装置に利用することができる。即ち、基板上に薄膜半導体を利用したトランジスタやダイオード、さらには抵抗やキャパシタを集積化した装置に利用することができる。

【0038】

【作用】珪素を結晶化させるために導入される触媒作用を有する8族の元素を中心とした微量元素を導入した領域から、基板に対して平行な方向に針状あるいは柱状に結晶成長を行わせ、該結晶成長領域を用いてTFT等の活性層を構成することによって、微量元素が導入された領域よりもその濃度が少ない領域を活性層として利用することができ、前記微量元素の影響を受けないデバイスを得ることができる。

【0039】また、デバイスの形成に際して、針状あるいは柱状に結晶成長した結晶性珪素膜の結晶成長方向に合わせてキャリアが流れるように設定することで、デバイスの特性を高めることができる。さらにこの領域は、前記微量元素の濃度が低く、またその濃度を容易に制御できるので、必要とする特性を有するデバイスを再現性良く得ることができる。

【0040】

【実施例】以下の実施例においては、ニッケルを結晶化のための触媒として用いた例を示すが、他の8族の元素を用いる場合、さらにはニッケルと同様な効果を期待できるCuやAgを利用した場合でも、基本的に以下の実施例におけるニッケルの代わりに用いることができる。またその導入方法も、それらの元素またはその元素を含む薄膜を、非単結晶珪素膜の上面に成膜する方法、8族の元素をイオンドーピングまたはイオン注入によって非単結晶珪素膜中に添加する方法、非晶質珪素膜の成膜時に混入させる方法でよい。そしてこの時、その濃度が珪素膜中において、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるようにすればよい。

## 12

【0041】〔実施例1〕本実施例は、ガラス基板上に結晶性珪素膜を用いたPチャネル型TFT（PTFTという）とNチャネル型TFT（NTFTという）とを相補型に組み合わせた回路を形成する例である。本実施例の構成は、アクティブ型の液晶表示装置の画素電極のスイッチング素子や周辺ドライバー回路、さらにはイメージセンサやその他集積回路に利用することができる。

【0042】図1に本実施例の作製工程の断面図を示す。まず、基板（コーニング7059）101上にスパッタリング法によって厚さ2000Åの酸化珪素の地下膜102を形成する。つぎにメタルマスクまたは酸化珪素膜等によって形成されたマスク103を設ける。このマスク103は、スリット状に地下膜102を100で示す領域において露呈させる。即ち、図1（A）の状態を上面から見ると、スリット状に地下膜102は露呈しており、他部分はマスクされている状態となっている。

【0043】上記マスク103を設けた後、スパッタリング法によって、厚さ5～200Å、例えば20Åの珪化ニッケル膜（化学式 $\text{NiSi}_x$ 、 $0.4 \leq x \leq 2.5$ 、例えば、 $x=2.0$ ）を100の領域に選択的に成膜する。この珪化ニッケル膜を成膜するのは、VIII族（8族）元素であるニッケルを結晶化のための触媒元素として用いるためである。

【0044】つぎに、プラズマCVD法によって、厚さ500～1500Å、例えば1000Åの真性（I型）の非晶質珪素膜104を成膜する。そして、これを水素還元雰囲気下（好ましくは、水素の分圧が0.1～1気圧）、550℃、または不活性雰囲気化（大気圧）、550℃、で4時間アニールして結晶化させる。この際、珪化ニッケル膜が選択的に成膜された100の領域においては、基板101に対して垂直方向に結晶性珪素膜104の結晶化が起こる。そして、領域100以外の領域では、矢印105で示すように、領域100から横方向（基板と平行な方向）に結晶成長が行われる。

【0045】そしてこの結晶化を助長させ、さらに緻密な結晶性珪素膜を得るために、上記加熱アニールの後にランプ加熱によるアニールを行う。このアニールは、1.2μmの赤外光を用いて行う。また、このアニールの時間は5分以内とする。赤外光は、珪素には効率良く吸収され、珪素の膜質改善には大きな効果を得ることができる。一方、ガラス基板には吸収されにくいので、珪素に対して選択的にエネルギーを与えると同時に、ガラス基板はあまり加熱しないという有意性が得られる。このランプ加熱によるアニールに用いられる光としては、タングステンハロゲンランプ光（波長0.5μm～3.5μm）等を用いることができる。このランプ加熱によるアニールによって、緻密な結晶性珪素膜を得ることができる。また、上記ランプ加熱の代わりにレーザー光を用いたアニールを行うことも可能である。

13

【0046】また、上記ランプ加熱によるアニールを行った結晶性珪素膜と、上記ランプ加熱を行わなかった場合の結晶性珪素膜とでNチャンネル型TFTをそれぞれ形成し、その移動度を測定したところ、平均で約20%の向上が見られた。これは、上記ランプ加熱による結晶性の改善、特に膜中の欠陥を大きく減少できたことによるものと考えられる。

【0047】上記工程の結果、非晶質珪素膜を結晶化させて、結晶性珪素膜104を得ることができる。その後、素子間分離を行い、TFTのソース/ドレイン領域、チャンネル形成領域が形成される活性層の領域を確定する。本実施例においては、約40 $\mu$ m以上にわたって基板に平行な方向への結晶成長（横方向成長）が見られたので、それぞれの活性層の長さ（ソース/ドレイン方向の長さ）を40 $\mu$ mとした。この場合、チャンネルの中心とニッケルが導入された位置との距離は約20 $\mu$ mとなるが、この距離を設定することで、活性層中（特にチャンネル形成領域）でのニッケルの濃度を選択することができる。

【0048】つぎに、スパッタリング法によって厚さ1000Åの酸化珪素膜106をゲイト絶縁膜として成膜する。スパッタリングには、ターゲットとして酸化珪素を用い、スパッタリング時の基板温度は200~400℃、例えば350℃、スパッタリング雰囲気は酸素とアルゴンで、アルゴン/酸素=0~0.5、例えば0.1以下とする。

【0049】この工程の後、先程のランプ加熱によるアニールを再度行う。これは、酸化珪素膜より成るゲイト絶縁膜106と結晶性珪素膜104との界面特性を改善するためである。勿論、このランプ加熱のアニールによっても結晶性珪素膜104の結晶性はさらに改善される。周知のように、絶縁ゲイト型電界効果トランジスタのゲイト絶縁膜とチャンネル形成領域（図1においては、112と115がチャンネル形成領域となる結晶性珪素膜部分である）との界面特性を改善すること、具体的には、その領域における欠陥や準位を極力低減させることは重要である。よって、このゲイト絶縁膜106の形成後に行われるランプ加熱によるアニールは大きな効果を得ることができる。また、ランプ加熱の代わりにレーザー光の照射によるアニールを行ってもよい。

【0050】つぎに、スパッタリング法によって、厚さ6000~8000Å、例えば6000Åのアルミニウム（0.1~2%のシリコンを含む）を成膜する。そして、パターニングを行い、ゲイト電極107、109を形成する。さらに、このアルミニウムの電極の表面を陽極酸化して、表面に酸化物層108、110を形成する。この陽極酸化は、酒石酸が1~5%含まれたエチレングリコール溶液で行った。得られた酸化物層108、110の厚さは2000Åであった。なお、この酸化物108と110とは、後のイオンドーピング工程に

14

において、オフセットゲイト領域を形成する厚さとなるので、オフセットゲイト領域の長さを上記陽極酸化工程で決めることができる。勿論このゲイト電極は、珪素を主成分とするもの、さらには珪素と金属とのシリサイドを有するもの、金属を主成分とするもの、珪素と金属との積層を有する構造であってもよい。

【0051】次に、イオンドーピング法（イオン注入法）によって、活性層領域（ソース/ドレイン、チャンネルを構成する）に一導電型を付与する不純物を添加する。このドーピング工程において、ゲイト電極107とその周囲の酸化層108、ゲイト電極109とその周囲の酸化層110をマスクとして不純物（燐およびホウ素）を注入する。ドーピングガスとして、フォスフィン（PH<sub>3</sub>）およびジボラン（B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）を用い、前者の場合は、加速電圧を60~90kV、例えば80kV、後者の場合は、40~80kV、例えば65kVとする。ドーズ量は1×10<sup>15</sup>~8×10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup>、例えば、燐を2×10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup>、ホウ素を5×10<sup>15</sup>とする。ドーピングに際しては、一方の領域をフォトレジストで覆うことによって、それぞれの元素を選択的にドーピングする。この結果、N型の不純物領域114と116、P型の不純物領域111と113が形成され、Pチャンネル型TFT（PTFT）の領域とNチャンネル型TFT（NTFT）との領域を形成することができる。

【0052】その後、レーザー光の照射によってアニールを行う。レーザー光としては、KrFエキシマレーザー（波長248nm、パルス幅20nsec）を用いたが、他のレーザーであってもよい。レーザー光の照射条件は、エネルギー密度が200~400mJ/cm<sup>2</sup>、例えば250mJ/cm<sup>2</sup>とし、一か所につき2~10ショット、例えば2ショット照射する。このレーザー光の照射時に基板を200~450℃程度に加熱することは有用である。このレーザーアニール工程において、先に結晶化された領域にはニッケルが拡散しているので、このレーザー光の照射によって、再結晶化が容易に進行し、P型を付与する不純物がドーパされた不純物領域111と113、さらにはNを付与する不純物がドーパされた不純物領域114と116は、容易に活性化させることができる。

【0053】またこのソース/ドレイン領域のアニール方法として、前述のランプ加熱によるアニール方法も有効である。このランプ加熱（例えば1.2 $\mu$ mの赤外光を用いる）は前述のように、珪素を選択的に加熱するので、ガラス基板の加熱を極力避けたい本実施例のような工程には有用である。

【0054】続いて、厚さ6000Åの酸化珪素膜118を層間絶縁物としてプラズマCVD法によって形成し、これにコンタクトホールを形成して、金属材料、例えば、窒化チタンとアルミニウムの多層膜によってTFTの電極・配線117、120、119を形成する。最

後に、1気圧の水素雰囲気で350℃、30分のアニールを行い、TFTを相補型に構成した半導体回路を完成する。(図1(D))

【0055】上記に示す回路は、PTFTとNTFTとを相補型に設けたCMOS構造であるが、上記工程において、2つのTFTを同時に作り、中央で切断することにより、独立したTFTを2つ同時に作製することも可能である。

【0056】図2に、図1(D)を上面から見た概要を示す。図2における符号は図1の符号に対応する。図2に示すように結晶化の方向は矢印105で示す方向であり、ソース/ドレイン領域の方向(ソース領域とドレイン領域を結んだ線方向)に結晶成長が行われている。この構成のTFTの動作時において、キャリアはソース/ドレイン間を針状あるいは柱状に成長した結晶に沿って移動する。即ちキャリアは針状あるいは柱状の結晶の結晶粒界に沿って移動する。従って、キャリアが移動する際に受ける抵抗を低減することができ、高移動度を有するTFTを得ることができる。

【0057】本実施例においては、ニッケルを導入する方法として、非晶質珪素膜104下の下地膜102上に選択的にニッケルを珪化ニッケル薄膜(極めて薄いので、膜として観察することは困難である)として形成し、この部分から結晶成長を行わす方法を採用したが、非晶質珪素膜104を形成後に、選択的に珪化ニッケル膜を成膜する方法でもよい。即ち、結晶成長は非晶質珪素膜の上面から行ってもよいし、下面から行ってもよい。またニッケルの導入方法としては、ニッケルを含む電極を用いてプラズマ処理を行い、微量なニッケルを付着させる方法を用いてもよい。また、予め非晶質珪素膜を成膜し、さらにイオンドーピング法やイオンインプラテーション(イオン注入法)を用いて、ニッケルイオンをこの非晶質珪素膜104中に選択的に注入する方法を採用してもよい。この場合は、ニッケル元素の濃度を制御することができるという特徴を有する。

【0058】〔実施例2〕本実施例は、アクティブ型の液晶表示装置において、Nチャネル型TFTをスイッチング素子として各画素に設けた例である。以下においては、一つの画素について説明するが、他に多数(一般には数十万)の画素が同様な構造で形成される。また、Nチャネル型ではなくPチャネル型でもよいことはいうまでもない。また、液晶表示装置の画素部分に設けるのではなく、周辺回路部分にも利用できる。また、イメージセンサや他の集積回路に利用することができる。即ち薄膜トランジスタと利用するのであれば、特にその用途が限定されるものではない。

【0059】本実施例の作製工程の概略を図3に示す。本実施例において、基板201としてはコーニング7059ガラス基板(厚さ1.1mm、300×400mm)を使用した。まず、下地膜203(酸化珪素)をス

パッタリング法で2000Åの厚さに形成する。この後選択的にニッケルを導入するために、メタルマスクや酸化珪素膜、またはフォトリソ等により、マスク203を形成する。そして、スパッタリング法により珪化ニッケル膜を成膜する。この珪化ニッケル膜は、スパッタリング法によって、厚さ5~200Å、例えば20Åの厚さに形成する。この珪化ニッケル膜は、化学式 $\text{NiSi}_x$ 、 $0.4 \leq x \leq 2.5$ 、例えば、 $x=2.0$ で示される。このようにして、選択的に領域204に珪化ニッケル膜が形成される。

【0060】この後、LPCVD法もしくはプラズマCVD法で非晶質珪素膜205を1000Åの厚さに形成し、400℃で1時間脱水素化を行った後、加熱アニールによって結晶化を行う。このアニール工程は、水素還元雰囲気下(好ましくは、水素の分圧が0.1~1気圧)、550℃で4時間行った。またこの加熱アニール工程を窒素等の不活性雰囲気中で行ってもよい。

【0061】このアニール工程において、非晶質珪素膜205下の一部の領域(204の領域)には、珪化ニッケル膜が形成されているので、この部分から結晶化が起こる。この結晶化の際、図3(B)の矢印で示すように、珪化ニッケルが成膜されている部分204では、基板201に垂直方向に珪素の結晶成長が進行する。また、同様に矢印で示されるように、珪化ニッケルが成膜されていない領域(領域205以外の領域)においては、基板に対し、平行な方向に結晶成長が行われる。この後実施1と同様なランプ加熱によってアニールを行い、珪素膜の結晶性の改善(緻密化)を行う。

【0062】こうして、結晶性珪素よりなる半導体膜205を得ることができる。次に、上記半導体膜205をパターニングして島状の半導体領域(TFTの活性層)を形成する。この際、チャンネル形成領域209が形成される部分とニッケルが導入される204との距離を設定することにより、チャンネル形成領域209におけるニッケルの濃度を決めることができる。即ちその距離を長くすれば、チャンネル形成領域209におけるニッケル濃度を小さくすることができ、その距離を短くすれば、チャンネル形成領域におけるニッケル濃度を高くすることができる。勿論この場合、珪素膜205が結晶化している領域でなければならない。

【0063】さらにテトラ・エトキシ・シラン(TEOS)を原料として、酸素雰囲気中のプラズマCVD法によって、酸化珪素のゲート絶縁膜(厚さ700~1200Å、典型的には1000Å)206を形成する。基板温度はガラスの縮みやソリを防止するために400℃以下、好ましくは200~350℃とする。この後、実施例1と同様に赤外光の照射によるランプ加熱を1分~5分行い、半導体膜205とゲート絶縁膜206との界面特性を向上させる。

【0064】次に、公知の珪素を主成分とした膜をCV

17

D法で形成し、パターニングを行うことによって、ゲイト電極207を形成する。その後、N型の不純物として、リンをイオン注入でドーピングし、自己整合的にソース領域208、チャネル形成領域209、ドレイン領域210を形成する。そして、KrFレーザー光を照射することによって、イオン注入のために結晶性の劣化した珪素膜の結晶性を改善させる。このときにはレーザー光のエネルギー密度は $250 \sim 300 \text{ mJ/cm}^2$ とする。このレーザー照射によって、このTFTのソース/ドレインのシート抵抗は $300 \sim 800 \Omega/\text{cm}^2$ となる。この工程も、レーザー光を用いる代わりに、赤外光のランプ加熱で行うことができる。

【0065】その後、酸化珪素によって層間絶縁物211を形成し、さらに、画素電極212をITOによって形成する。そして、コンタクトホールを形成して、TFTのソース/ドレイン領域にクロム/アルミニウム多層膜で電極213、214を形成し、このうち一方の電極213はITO212にも接続するようにする。最後に、水素中で $200 \sim 300^\circ\text{C}$ で2時間アニールして、シリコンの水素化を完了する。このようにして、TFTを完成する。この工程は、同時に他の多数の画素領域においても同時に行われる。

【0066】本実施例で作製したTFTは、ソース領域、チャネル形成領域、ドレイン領域を構成する活性層として、キャリアの流れる方向に結晶成長させた結晶性珪素膜を用いているので、結晶粒界をキャリアが横切ることがなく、即ちキャリアが針状あるいは柱状の結晶の結晶粒界に沿って移動することになるから、キャリアの移動度の高いTFTを得ることができる。本実施例で作製したTFTはNチャネル型であり、その移動度は、 $90 \sim 130 (\text{cm}^2/\text{Vs})$ であった。従来の $600^\circ\text{C}$ 、48時間の熱アニールによる結晶化によって得られた結晶性珪素膜を用いたNチャネル型TFTの移動が、 $80 \sim 100 (\text{cm}^2/\text{Vs})$ であったことと比較すると、これは大きな特性の向上である。

【0067】また上記の工程と同様な作製方法によって、Pチャネル型TFTを作製し、その移動度を測定すると、 $80 \sim 120 (\text{cm}^2/\text{Vs})$ であった。これも従来の $600^\circ\text{C}$ 、48時間の熱アニールによる結晶化によって得られた結晶性珪素膜を用いたPチャネル型TFTの移動が、 $30 \sim 60 (\text{cm}^2/\text{Vs})$ であったことに比較すると大きな特性の向上である。

【0068】〔実施例3〕本実施例は、実施例2に示すTFTにおいて、結晶の成長方向に対して垂直な方向にソース/ドレインを設けた例である。即ち、キャリアの移動する方向が結晶成長方向とは垂直になっており、針状あるいは柱状の結晶の結晶粒界を横切るようにしてキャリアが移動する構成とした例である。このような構成とすると、ソース/ドレイン間の抵抗を高くすることができる。これは、針状あるいは柱状に結晶成長した結晶

18

の結晶粒界を横切るようにキャリアが移動しなければならないためである。本実施例の構成を実現するには、実施例2に示す構成において、単にTFTをどのような向きで設けるかを設定すればよい。

【0069】〔実施例4〕本実施例は、実施例2に示す構成において、TFTを設ける向き（ここではソース/ドレイン領域を結ぶ線で定義する。即ち、キャリアの流れる向きでTFTの方向を決めることとする）を結晶性珪素膜の基板表面に対する結晶成長方向と任意の角度で設定することにより、TFTの特性を選択することを要旨とする。

【0070】前述のように、結晶の成長方向にキャリアを移動させる場合、キャリアは結晶粒界に沿って移動するので、その移動度を向上させることができる。一方、結晶の成長方向に対して垂直な方向にキャリアを移動させる場合には、キャリアが多数の粒界を横切らなければならないので、キャリアの移動度は低下する。

【0071】そこで、この2つの状態の間を選択することによって、即ち結晶成長方向とキャリアの移動する方向との角度を $0 \sim 90^\circ$ の範囲において設定することにより、キャリアの移動度を制御することができる。また別な見方をするならば、上記結晶成長方向とキャリアの移動する方向との角度を設定することにより、ソース/ドレイン領域間の抵抗を制御できることになる。勿論この構成は、実施例1に示す構成にも利用することができる。この場合、図2に示すスリット状のニッケル微量添加領域100が $0 \sim 90^\circ$ の範囲で回転し、矢印105で示す結晶の成長方向と、ソース/ドレイン領域を結ぶ線との角度が $0 \sim 90^\circ$ 範囲で選択されることになる。そして、この角度が、 $0^\circ$ に近い場合は移動度が大きく、ソース/ドレイン間の電気抵抗が小さい構成とすることができる。またこの角度が $90^\circ$ に近い場合、移動度が小さく、ソース/ドレイン間の抵抗、即ちチャネル形成領域の抵抗が大きい構成とすることができる。

→【0072】〔実施例5〕本実施例は、実施例1または実施例2の非単結晶珪素半導体膜の結晶化の工程において、塩素が添加された酸化珪素膜を形成後に、ランプ加熱による結晶化を行う例である。実施例1または実施例2においては、まず非単結晶珪素膜を形成後に、 $550^\circ\text{C}$ 、4時間の加熱によりこの珪素膜を結晶化させ、さらにランプ加熱によって結晶性の助長及び改善を行うものであった。本実施例はこの工程をさらに発展させたものであって、ランプ加熱の際に結晶化のための触媒元素をゲッターリングせんとするものである。

【0073】本実施例においては、まず実施例1や実施例2で説明したように加熱によって結晶性珪素膜を作製する。この工程は、触媒元素（例えばニッケル）の作用によって $550^\circ\text{C}$ 、4時間程度の加熱アニールによって行われる。その後、塩素が添加された酸化珪素膜を $1000 \text{ \AA}$ の厚さに形成する。この後この酸化珪素膜を介し

てのランプ加熱を行う。ランプ加熱の条件は実施例1の場合と同様である。この時、先の加熱によって結晶化された結晶性珪素膜の結晶性が改善される(膜の緻密化が進行する)とともに、酸化珪素膜中の塩素の働きによって、結晶化のための触媒元素のゲッターリングが行われる。こうして、触媒元素が固定化され、触媒元素がデバイスの動作に影響を与えることが低減された結晶性珪素膜を得ることができる。

【0074】その後この塩素が添加された酸化珪素膜を取り除き、ゲイト絶縁膜用の酸化珪素膜を形成する。その後の工程は、実施例1や実施例2で説明したのと同様である。

【0075】〔実施例6〕本実施例は、図3に示す実施例2の作製工程において、珪化ニッケル膜を下地膜202上全面に形成することで、珪素膜全面において、基板に垂直な方向に結晶成長をさせた例である。TFTの作製は、マスク203を設けずに珪化ニッケル膜を下地膜202上全面に形成し、かかる後に実施例2で説明したように非晶質珪素膜205を形成し、さらに結晶化工程を経て、TFTを作製する。

【0076】本実施例のTFTの概略の断面は、図3(D)に示すものと異なるものではないが、ソース/ドレイン領域208、210とチャネル形成領域209とが形成される活性層において、針状あるいは柱状の結晶の成長方向が、基板201に対して垂直に成されている。この為、ソース領域(208または210)とドレイン領域(210または208)との間を移動するキャリアは、針状あるいは柱状の結晶の結晶粒界を横切る形で移動することになる。従って、ソース/ドレイン間の抵抗が若干高いTFTとなる。このようなTFTは、移動度は $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であるが、オフ電流が小さいので、電荷保持を行うことを目的とする液晶表示装置の画素用TFTに最適な形式となる。

【0077】しかしながら、本実施例のようなTFTは、前述のように活性層中におけるニッケル濃度を制御することが困難であるので、歩留りや信頼性に問題がある。この問題は、ニッケルの導入量を制御できる方法(例えばイオン注入法)を利用することで改善できる。

【0078】〔実施例7〕本実施例は、加熱による結晶化のための触媒元素である8族の元素の他に4族の元素のイオン注入により、さらに結晶化を促進させた例である。本実施例の作製工程を図1を用いて説明する。また特に断らない限り個々の作製工程における作製条件や膜厚は、実施例1で説明のと同様である。

【0079】まずガラス基板101上に下地膜(酸化珪素膜)を形成し、さらにマスク103を形成し、選択的に結晶化のための触媒元素である8族の元素(ここではニッケル)を薄膜として露呈した100の領域に形成する。つぎにマスク103を取り除き、非単結晶珪素膜ここでは非晶質珪素膜104をプラズマCVD法によって

形成する。次に4族の元素である珪素をイオン注入法により、全面に打ち込む。この際投影飛程が珪素膜104と下地膜102との界面近傍の基板側になるようにする。イオン注入の加速電圧は60kVし、ドーズ量は $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ とする。この結果、基板(下地膜も含む)と非晶質珪素膜104との界面近傍を中心に徹底的に非晶質化が行われ、結晶化核となるべき存在を極力無くすることができる。

【0080】ここで4族の元素を用いるのは、珪素に対して電気的に中性の不純物であるからである。この4族の元素としては、C、Si、Ge、Sn、Pbを用いることができるが、特にSi、Ge、Snを用いることが好ましい。またそのドーズ量は $5 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{16}$ イオン $\text{cm}^{-2}$ とすればよい。

【0081】この後、非晶質珪素膜104を550度、4時間の加熱により結晶化させる。この際、100の領域から矢印105で示すような基板に平行な方向への結晶成長が起こる。この結晶成長は、針状あるいは柱状に行われる。この結晶成長の際、基板と非晶質珪素膜との界面を中心に結晶成長の核になる結晶成分(非晶質珪素膜といっても、程度も問題として結晶成分は存在する)が先の珪素イオンの注入によって排除されているので、100の領域から基板に平行な方向に行われる結晶成長が珪素膜104と下地膜102との界面から発生する結晶成長によって阻害されることなく、配向性の良好な、即ち結晶成長方向の揃った結晶成長を行わせることができる。

【0082】後は実施例1で説明したように、PTFT及びNTFTを形成することで、相補型に形成されたTFT回路を完成する。本実施例のように、配向性の良好な結晶性珪素膜において、その結晶成長方向とキャリアの移動する方向とが揃うようにTFTを形成した場合、キャリアが結晶粒界に沿って移動するので、その移動の際に結晶粒界の影響を殆ど受けない構成とすることができる。即ち、高速動作を得ることができる。例えば、実施例1で示した工程により形成したNTFTの移動度は平均で $90 \sim 130 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であったものが、本実施例のように加熱による結晶化に先立ち、珪素イオンの打ち込みを行ったものは、 $150 \sim 170 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のものを得ることができた。

【0083】本実施例においてさらに結晶性の向上が得られ、移動度の高いTFTが得られたのは、8族の元素であるニッケルの導入領域からの基板に平行な方向への結晶成長において、この結晶成長を阻害する基板に垂直方向への結晶成長を助長する結晶成分が前もって徹底的に除去されていたので、基板に平行な方向への結晶成長が優先的に行われたためであると考えられる。特に基板に垂直な方向に柱状に結晶成長する際の結晶核が存在する珪素膜と基板との界面近傍を徹底的に非晶質化したことが有効であったと考えられる。

21

【0084】〔実施例8〕本実施例は、アクティブ型の液晶表示装置において、周辺ドライバー回路を8族元素であるニッケルの触媒作用によって結晶化させた実施例1または実施例2にその作製工程を示すTFTで構成し、画素部分に設けられるTFTを公知の非晶質珪素（アモルファスシリコン）を用いたTFTで構成する例である。

【0085】公知のように、アクティブ型の液晶表示装置において、周辺ドライバー回路部分のTFTは、高移動度（ $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上）を有し、多くのオン電流を流せるTFTが必要とされるが、画素部分に設けられるTFTは、電荷保持のために小さなオフ電流と光照射による誤動作を避けるために比較的小さな移動度（ $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度）を有することを要求される。

【0086】この要求は、周辺回路部分を実施例1や実施例2で説明したTFTで構成し、画素部分を公知の非晶質珪素膜を利用したTFT（a-SiTFT）で形成することで、ある程度満足される。しかし、非晶質珪素膜を利用したTFTは、その移動度は $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であるので、その点で問題が残る。

【0087】〔実施例9〕本実施例は、実施例8をさらに発展させたもので、周辺回路部分のTFTは、実施例1や実施例2で示した $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高移動度を有するTFTで構成し、画素部分のTFTを実施例6で示したTFTで構成する例である。

【0088】実施例6に示したTFTは、基板に垂直な方向に結晶成長を行わすことによって、キャリアの流れに対して、結晶粒界が垂直になるようにし、キャリアが多数の結晶粒界を横切るように構成したTFTである。このようなTFTは、キャリアの移動が結晶粒界によって阻害されるので、移動度は低下する。しかし、オフ電流は小さくなるので、電荷保持率を高めることができ、画素用のTFTとしては適する。しかし、実施例1や実施例2で示したようにニッケルを薄膜として導入した場合には、その再現性が悪く、また得られる移動度も $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 近くのもので得られてしまうので、画素用TFTとしてはオーバースペックとなる。

【0089】そこで、本実施例においては、ニッケルの濃度を制御して導入することのできるイオン注入法を用いることによって、上記問題を解決せんとするものである。まず、イオン注入法を用いることによって、膜中のニッケル濃度の再現性の問題は解決される。さらに、膜中のニッケル濃度を下げることで、結晶性を多少悪くさせ、その移動度を低下させることができる。勿論移動度を下げるには、チャネル領域やソース/ドレイン領域に酸素や窒素を人為的に導入する方法、ソース/ドレイン領域にドーパされる導電型を付与する不純物のドーパ量を減らし、またはその活性化工程を簡略化させることによってソース/ドレイン領域の抵抗を高める方法、チャネルをソース/ドレインとは弱い逆導電型にする方法、

22

ソース/ドレインのコンタクトホールを位置を離す（即ち、ソース/ドレイン領域のシート抵抗を利用する）方法、等のソース/ドレイン間の抵抗を高める手段を用いてもよい。

【0090】以上のように、本実施例は、珪素膜の結晶化を行うための触媒元素であるニッケルをイオン注入法によって非晶質珪素膜中に注入する方法を用い、しかもその際、画素部分には低濃度で全面にニッケルを注入し、さらに周辺回路部分にはそれより高濃度で注入し、さらに画素部分では基板に垂直な方向に結晶成長した結晶性珪素膜を利用してTFTを形成し、周辺回路部分では、基板に平行に結晶成長した結晶性珪素膜を利用してTFTを形成したものである。そして、このような構成をとることによって、画素部分では移動度が $10\sim50\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度でオフ電流の小さいTFTを、周辺回路部分では、移動度が $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上でオン電流を多く流せるTFTを得ることができる。

【0091】また、さらに周辺回路部分のみを高移動度化させるのであれば、その領域に実施例7で示したような中性元素のイオン注入を併用すればよい。

【0092】

【効果】基板上に設けられ、しかも基板表面に平行な方向に結晶成長した結晶性を有する非単結晶珪素半導体膜をTFTに利用するに際して、TFT内を移動するキャリアの流れの方向を結晶成長が行われた方向と合わせることで、キャリアの移動が針状または柱状に成長した結晶の結晶粒界に沿って（平行に）移動する構成とすることができ、高移動度を有するTFTを得ることができる。さらにこれらのTFTを $600^\circ\text{C}$ 以下の低温で形成することができるので、基板として安価なガラス基板を利用することができる。

【0093】また、必要とする移動度を有するTFTを選択的に作り分けることができる。具体的には、

1. 基板に平行な方向に結晶成長した結晶性珪素膜を用いて、結晶粒界に沿った方向にキャリアが移動するようにTFTを作製する。
2. 基板に平行な方向に結晶成長した結晶性珪素膜を用いて、結晶粒界を横切ってキャリアが移動するようにTFTを作製する。
3. 基板に垂直な方向に結晶成長した領域にTFTを作製する。
4. 部分的に結晶化のための触媒元素を導入することで、選択的に結晶性珪素膜を形成し、その結晶性珪素膜を利用することで、特定の部分のTFTを高移動度TFTとする。特に、結晶化のための触媒元素が導入された領域から離れた領域の結晶性珪素膜は、1次元的な配向性を有しているので、その1次元方向とキャリアの移動方向とを概略合わせることで、キャリアが高移動度を有する半導体装置を得ることができる。特に絶縁ヘイト型電界効果トランジスタのチャネル形成領域に

23

この構成を利用することで、高速応答を有するTFTを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例の作製工程を示す。

【図2】 実施例の概要を示す。

【図3】 実施例の作製工程を示す。

【図4】 金属元素の濃度を示す。

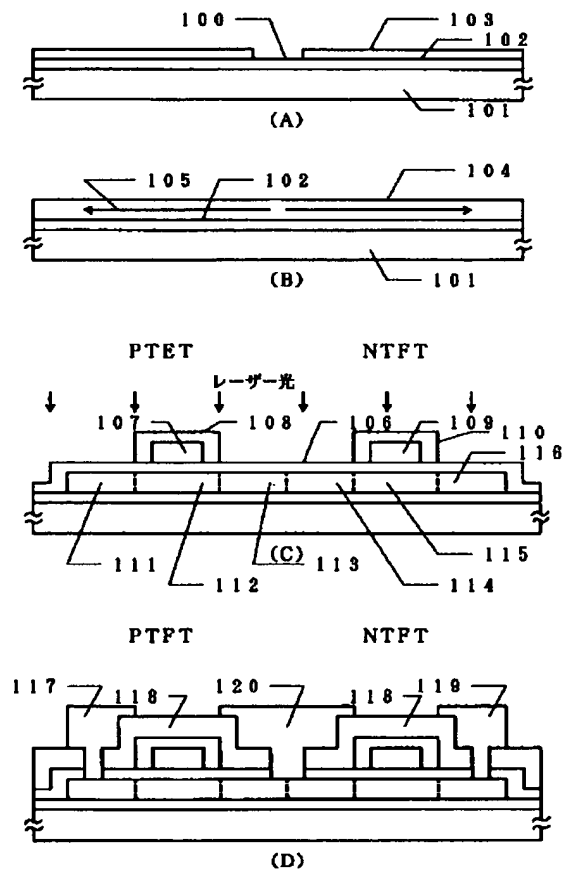
【符号の説明】

- 101 ガラス基板
- 102 下地膜（酸化珪素膜）
- 103 マスク
- 104 珪素膜
- 105 結晶化の方向
- 106 ゲイト絶縁膜
- 107 ゲイト電極
- 108 陽極酸化層
- 109 ゲイト電極
- 110 陽極酸化層
- 111 ソース／ドレイン領域
- 112 チャネル形成領域
- 113 ドレイン／ソース領域

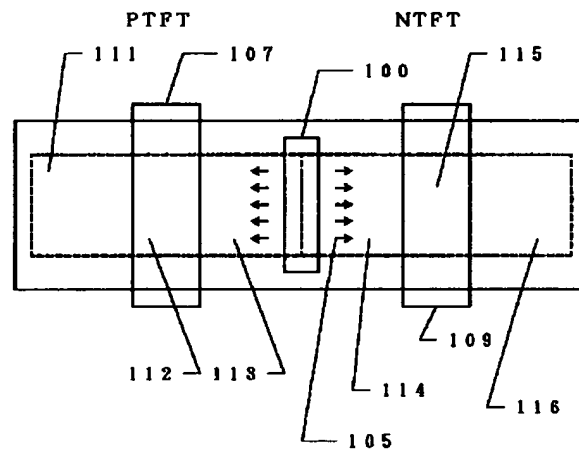
24

- 114 ソース／ドレイン領域
- 115 チャネル形成領域
- 116 ドレイン／ソース領域
- 117 電極
- 118 層間絶縁物
- 120 電極
- 119 電極
- 201 ガラス基板
- 202 下地膜（酸化珪素膜）
- 10 203 マスク
- 204 ニッケル微量添加領域
- 205 珪素膜
- 206 ゲイト絶縁膜
- 207 ゲイト電極
- 208 ソース／ドレイン領域
- 209 チャネル形成領域
- 210 ドレイン／ソース領域
- 211 層間絶縁物
- 213 電極
- 20 214 電極
- 212 ITO（画素電極）

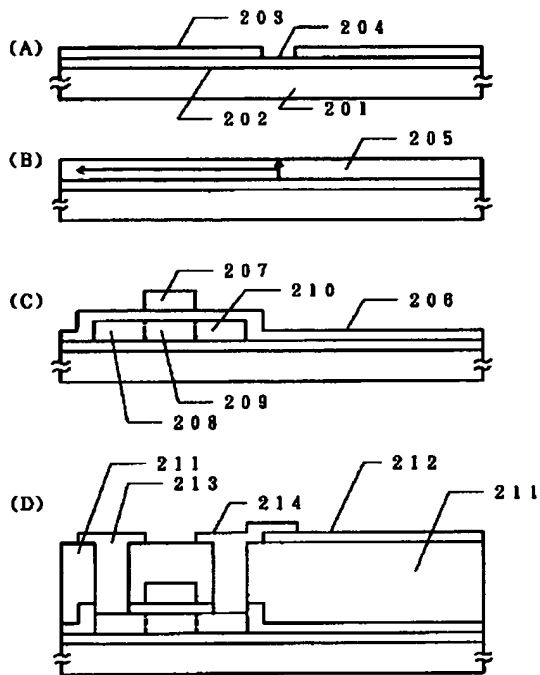
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

